

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.09.005

套种大豆对油桐幼苗光合特性及其生长的影响^①

万盼¹, 刘芸¹, 黄小辉¹, 熊兴政¹, 彭丽媛¹,
欧阳¹, 袁孝谦¹, 周恺², 孟祥江²

1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2. 重庆市林业科学研究院, 重庆 400036

摘要: 以一年生油桐幼苗为研究对象, 在田间设置油桐林套种大豆(T)和纯林(CK)两种处理, 测定两种生境下油桐幼苗的光合及生长指标, 并采用非直角双曲线修正模型拟合光合-光强响应曲线和光合-CO₂体积分数响应曲线, 探讨套种大豆对油桐幼苗光合特性及生长的影响. 结果显示: 套种大豆的油桐叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)及蒸腾速率(Tr)均低于纯林, 但差异均没有统计学意义($p > 0.05$); 水分利用率(WUE)显著高于油桐纯林($p < 0.05$); 套种大豆降低了油桐幼苗的光饱和点(LCP)、光补偿点(LSP)和 CO₂ 补偿点(CCP), 这说明套种大豆降低了油桐幼苗的光合能力, 但有利于减少油桐幼苗水分的散失, 使其以高水分利用率抵御干旱胁迫. 两种栽培条件下油桐苗 P_n -PAR 响应曲线拟合度 > 0.97 , 光合-CO₂ 体积分数响应曲线拟合度 > 0.99 , 表明两者拟合度均良好; 套种大豆并未对油桐幼苗生长量造成影响, 这说明套种大豆有利于提高油桐幼苗对弱光的利用能力, 且有助于光合产物的积累. 可见, 在油桐幼苗中以适当密度套种大豆具有可行性, 虽然降低了油桐幼苗期净光合能力, 但可以改善其光合性能, 提高抗旱能力, 对油桐在幼苗期抵御重庆夏季的高温伏旱天气有着积极作用.

关键词: 套种模式; 油桐; 光合特性; 拟合模型

中图分类号: S727.32

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)09-0026-08

油桐(*Vernicia fordii*)是我国南方地区特有的一种油料植物, 近年来在重庆三峡库区发展迅速^[1-2]. 长期以来, 人们普遍在油桐幼苗中进行间作套种, 套种作物如大豆, 花生等一年生经济作物^[3]. 这种农林间作套种模式可以提高土地资源利用率并保持水土, 同时, 豆科植物具有固氮作用, 增加土壤肥力, 减少化肥施用量, 这对减少三峡库区面源污染, 保护库区水质具有十分重要的意义^[4].

近年来, 国内学者已经开展了有关套种模式下土壤养分、经济效益及水土流失等方面的研究. 比如, 章家恩等^[5]研究发现, 间作条件下根区土壤碱解氮、速效磷和有机质质量分数均增加; 桂富荣等^[6]研究表明, 套种马铃薯能够明显提高玉米产量; 李纪元等^[7]研究了不同套种模式油茶幼林对水土流失及养分的损耗, 表明套种作物可以减轻地表径流, 且可以补充一定的养分流失量; 丁松爽等^[8]研究表明枣树与玉米间作和枣树与紫花苜蓿间作条件下, 枣树叶片净光合速率、蒸腾速率日变化均程单峰曲线, 套

① 收稿日期: 2014-06-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(31370602); 林业公益性行业科研专项项目(201104043); 西南大学资源环境学院大学生科技创新“光桐”培养重点项目(20130215); 重庆武陵山区油桐高产优质产业化技术开发研究项目(cstc2013yykfB80003).

作者简介: 万盼(1988-), 男, 陕西渭南人, 硕士, 主要从事森林培育方向研究.

通信作者: 刘芸, 研究员, 硕士研究生导师.

种玉米的枣树具有较高水分利用率. 徐永杰等^[3]初步分析过油桐幼林套种模式效益, 结果表明, 油桐幼林下套种花生可以改善土壤环境, 并促进油桐生长; 但套种模式对油桐光合特性的影响未见报道. 光合产物是植物进行能量流动和物质循环的基础, 研究植物的光合作用可以加深对其生理特征、生态特征和生产潜力的系统认识^[9]. 本实验以油桐幼苗为材料, 对两种种植方式(套种大豆和纯林)下油桐幼苗的光合特性分析, 探讨套种大豆对油桐苗期光合特性及生长的影响, 旨在为三峡库区科学种植油桐提供理论依据.

1 研究方法

1.1 试验材料与试验地概况

试验位于重庆市西南大学后山试验园, 海拔 275 m, 属亚热带季风湿润气候. 该区年均气温 16~18 ℃, 最热月份平均气温 26~29 ℃, 7—9 月份会出现数日 40 ℃ 以上的极端高温天气^[10]. 试验地土壤理化性质为: pH 值 7.78, 有机质质量分数 17.08 g/kg, 全氮质量分数 0.37 g/kg, 全磷质量分数 0.78 g/kg, 全钾质量分数 28.99 g/kg.

供试油桐幼苗: 2012 年 4 月下旬将油桐种子均匀点播在高 25 cm、口径 20 cm 的带土钵中, 待萌芽后长至 20 cm 左右, 移栽于试验园大田内, 种植株行距为 150×150 cm, 以供试验. 大豆种子为重庆当地农户普遍种植的黄豆.

1.2 试验设计

本试验设置 2 个处理: ① CK(纯林油桐幼苗); ② T(套种大豆油桐幼苗). 2013 年 5 月初, 在试验园油桐幼苗中进行套种大豆作为处理组, 每两行油桐苗之间均匀播 2 行大豆种子, 行向与油桐幼苗行向一致, 距离油桐幼苗行 50 cm, 大豆株距为 50×50 cm, 采用穴播, 每穴 4 粒种子, 出苗后进行间苗, 每穴留大豆苗一株; 而纯林油桐幼苗作为对照组. 各处理管理方式一致; 在两组处理中各随机选取 20 株油桐幼苗, 对其进行挂牌标记, 并测株高与地径.

2013 年 8 月底, 每组随机选取 8 株幼苗测定其光合特性指标; 然后再次测定标记的幼苗株高与地径.

1.3 测定项目与方法

1.3.1 光合作用日进程的测定

采用 Li-6400 便携式光合作用测量系统(LI-COR, USA), 选择晴朗无风的日子, 连续 3 天测定自然条件下油桐叶片的光合参数日变化, 并求出平均值. 对照和处理组的油桐幼苗中各选取 8 株, 每株选取相同部位、生长健壮的成熟叶进行测量. 从 8:00 至 20:00 每 2 h 测定 1 次, 测定参数主要包括净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)及环境因子等, 试验期间的环境因子日变化见图 1. 水分利用效率(WUE)为净光合速率与蒸腾效率的比值.

1.3.2 光合—光强响应曲线的测定

光响应曲线的测定时间为上午 9:00~11:00, 采用 Li-6400 光合作用测量系统 LED 红蓝光源设置 12 个梯度, 分别为: 1 500, 1 200, 1 000, 800, 600, 400, 200, 150, 100, 50, 20 和 0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 先从 1 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 逐渐增加 PAR 进行诱导, 再按设定的 PAR 范围从高往低依次测定, 重复 3 次. 参比室 CO_2 体积分数设定为 400 $\mu\text{mol}/\text{mol}$, 叶室温度为 30 ℃. 在 0~1 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光强范围内制作 P_n -PAR 光响应曲线. 光响应曲线采用 Farquhar(1980)提出的模型进行拟合.

$$P_n = \frac{\Phi I + P_{\max} - \sqrt{(\Phi I + P_{\max})^2 - 4\Phi\theta IP_{\max}}}{2\theta} - R_d$$

式中: P_n 为净光合速率, Φ 为表观量子效率, I 为人射到叶片上的光和有效辐射量, P_{\max} 为最大净光合速率, R_d 为暗呼吸速率, θ 为光响应曲线曲角. 根据上式求出光响应曲线的最大净光合值($P_{n_{\max}}$)、表观量子

效率(AQY)、光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)、暗呼吸速率(R_d)。

1.3.3 光合- CO_2 体积分数响应曲线的测定

CO_2 响应曲线的测定采用 Li-6400-01 液化 CO_2 钢瓶提供不同的 CO_2 体积分数, 设定 PAR 为 $1\,000\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 作为测定光强, 叶室温度 $30\ ^\circ\text{C}$. CO_2 体积分数设置为 12 个水平, 分别为: 50, 80, 100, 120, 150, 200, 400, 600, 800, 1 000, 1 200, 1 500 $\mu\text{mol}/\text{mol}$, 先从 400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 逐渐降低进行诱导, 再按设定的 CO_2 体积分数范围从低到高依次测定, 重复 3 次. 测得的 CO_2 响应曲线拟合同光响应曲线一样, 可求出 CO_2 饱和时的最大净光合速率 Pn_{max} 、 CO_2 羧化效率(CCE), CO_2 补偿点(CCP)、 CO_2 饱和点(CSP)和光呼吸速率(R_p).

1.3.4 油桐生长指标的测量

油桐生长指标采用直接测量法. 于 2013 年 5 月初和 8 月底, 两次测定两组处理中标记的油桐幼苗株高与地径.

1.4 数据统计

试验数据用 Microsoft Excel 2000 软件进行统计, OriginPro 7.5 进行作图, 应用统计分析软件 SPSS 17.0 进行方差分析及对光响应曲线的拟合.

2 结果与分析

2.1 环境因子日变化

图 1 可看出, PAR 出现“双峰单谷”曲线, 其中最高值为 $1\,245\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 且出现在 10:00; 日平均值为 $704\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$. 大气温度(T)日变化表现为先升高后下降的单峰曲线, 在 14:00 达到一天中最高温度 $40.7\ ^\circ\text{C}$, 日平均温度为 $37.1\ ^\circ\text{C}$.

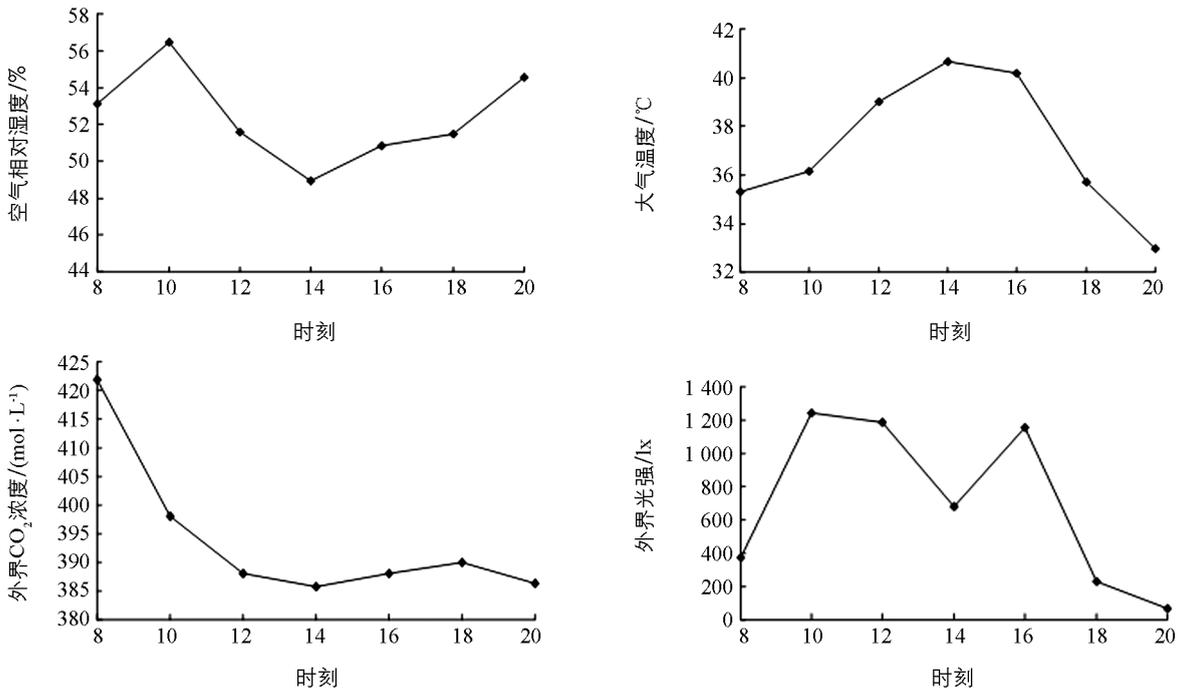


图 1 环境因子的日变化

空气相对湿度(RH)日变化出现“单峰单谷”曲线, 在 10:00 出现最大值 56.5%; 在 14:00 出现最小值 48.9%, 日平均值为 52.4%. 大气 CO_2 体积分数日变化表现为单谷曲线, 在 14:00 达最低值 $385.7\ \mu\text{mol}/\text{mol}$, 日平均值为 $394.0\ \mu\text{mol}/\text{mol}$.

2.2 两种处理下油桐幼苗光合及水分利用率日变化特征

两种处理下的油桐幼苗净光合速率(P_n)日变化均呈明显的“双峰”曲线,且变化规律一致(图 2a),即在 10:00 出现第一个峰值,过后逐渐下降,至 14:00 出现“午休”现象,在 16:00 出现第二个峰值.总体上, P_n 值表现为套种的油桐幼苗低于纯林油桐幼苗,但差异结果没有统计学意义($p > 0.05$).

两种处理下的油桐幼苗的 G_s 日变化均呈“双峰”曲线,且变化规律一致(图 2b);在各个时间段,纯林油桐幼苗的 G_s 高于套种大豆油桐幼苗,但差异统计结果没有统计学意义($p > 0.05$).两种处理下油桐幼苗的 T_r 日变化均呈“单峰”曲线,且变化规律一致,在 16:00 达到最大值(图 2c);在各个时间段,纯林油桐幼苗的 T_r 也高于套种大豆油桐幼苗($p > 0.05$).两种处理下油桐幼苗的叶片胞间 CO_2 浓度(C_i)日变化总体上均呈“W”曲线,但差异统计结果没有统计学意义($p > 0.05$)(图 2d).

两种处理下油桐幼苗 WUE 日变化呈明显“双峰”曲线.套种大豆油桐幼苗 WUE 高于纯林油桐幼苗;在 18:00 时,套种大豆的油桐幼苗在该点的瞬时 WUE 显著高于纯林的油桐幼苗($p < 0.05$)(图 2e).

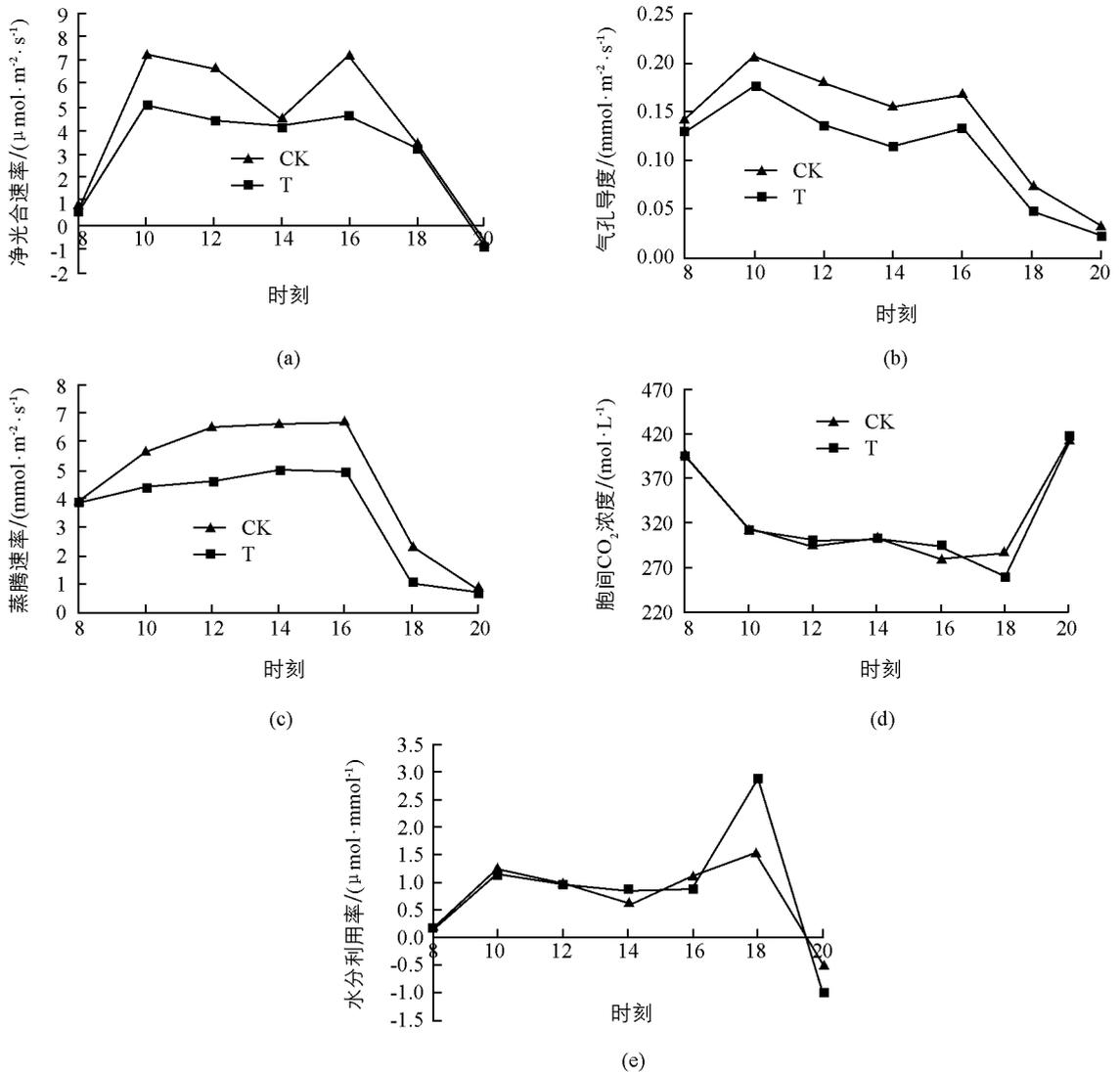


图 2 两种处理下油桐幼苗光合及水分利用率日变化特征

2.3 两种处理下油桐幼苗 P_n -PAR 响应特征

当 PAR 小于 $200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,两种处理油桐幼苗的 P_n 值均随着光强的增加呈直线上升; $200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之后,其净光合速率上升缓慢,逐渐趋于平稳状态,出现光饱和现象(图 3).

两种处理下的油桐幼苗在相同的光照条件下 P_n 值也表现出了差异,纯林油桐幼苗在 PAR 达到

200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之后各光强下净光合速率均高于套种大豆油桐幼苗。通过 Farquhar 模型的拟合, 得到两种条件下油桐的 $P_{n\text{max}}$ 、 AQY 、 R_d 、 LCP 、 LSP 等相关光合作用参数(表 1)。结果表明: 套种大豆油桐幼苗的最大净光合速率、表观量子效率、暗呼吸速率、光补偿点及光饱和点均低于纯林油桐。

2.4 两种处理下油桐幼苗 $P_n\text{-CO}_2$ 响应特征

套种大豆油桐幼苗在 600 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 之后各 CO_2 体积分数下净光合速率均低于纯林的油桐幼苗(图 4)。通过计算可得特征参数(表 2)。套种大豆的油桐幼苗 CO_2 饱和时的最大净光合速率、 CO_2 羧化效率、光呼吸速率、 CO_2 的饱和点和补偿点均低于纯林的油桐幼苗。

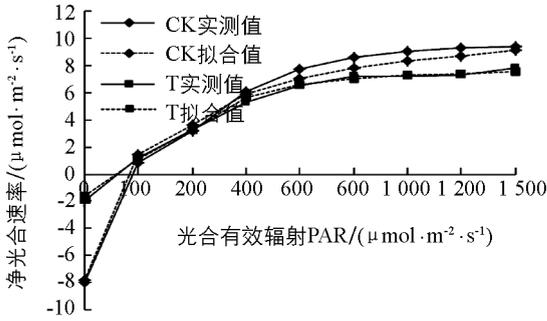


图 3 两种处理下油桐幼苗 $P_n\text{-PAR}$ 响应

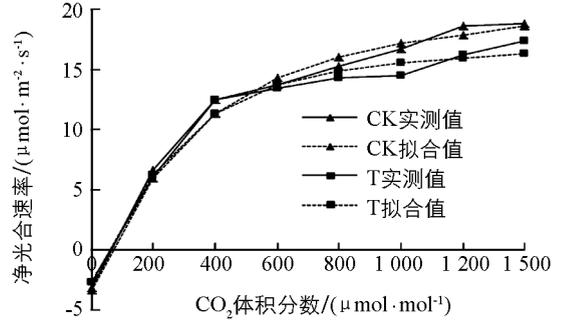


图 4 两种处理下油桐幼苗 $P_n\text{-CO}_2$ 响应

表 1 两种处理下油桐幼苗光合—光强响应参数

环境条件	最大净光合速率 $P_{n\text{max}}/[\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})]$	表观量子效率 $AQY/\%$	暗呼吸速率 $R_d/[\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})]$	光补偿点 $LCP/[\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})]$	光饱和点 $LSP/[\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})]$	拟合决定系数 R^2
CK	19.19	0.027	2.14	77.8	775.6	0.989
T	9.74	0.025	1.51	61.1	453.9	0.977

表 2 两种处理下油桐幼苗 $P_n\text{-CO}_2$ 响应相关参数

环境条件	CO_2 饱和最大净光合速率 $P_{n\text{max}}/[\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})]$	CO_2 羧化效率 $CCE/[\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})]$	光呼吸速率 $R_p/[\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})]$	CO_2 补偿点 $CCP/(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	CO_2 饱和点 $CSP/(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	拟合决定系数 R^2
CK	25.16	0.047	7.80	66.996	601.178	0.994
T	20.43	0.042	1.65	56.040	534.564	0.992

2.5 对油桐幼苗生长的影响

由图 5 可知, 套种大豆 4 个月后的油桐幼苗株高与地径增长量分别比对照(油桐纯林)高 12.5% 和 5.9%, 但差异没有统计学意义($p > 0.05$), 这说明套种大豆虽然降低了油桐幼苗的光合速率, 但并未影响株高与地径的增长。

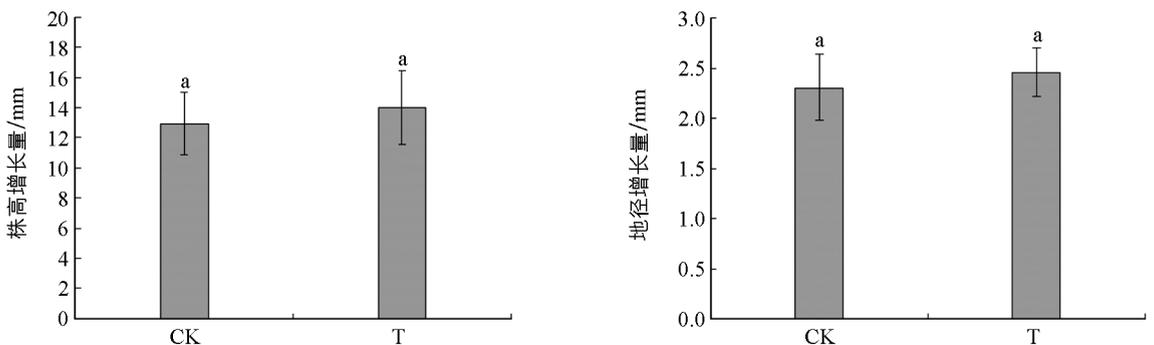


图 5 两种处理下油桐幼苗株高与地径增长量

3 结论与讨论

光合作用、气孔导度和蒸腾速率是受外界光照强度、大气温度和水分等综合因素影响. 研究表明, 间作模式下茶树的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率与外界光强呈正相关^[11]; 李泽等^[12]发现, 油桐净光合速率与光合有效辐射、气孔导度和蒸腾速率成正相关. 本研究表明, 两种处理下油桐幼苗 P_n 和 G_s 日变化均与 PAR 日变化模式基本一致; 根据前人的研究结果, 可以推测油桐幼苗 P_n 和 G_s 均与 PAR 具有线性关系, 说明光合有效辐射是影响 P_n 和 G_s 变化主要因素之一. 本实验还发现, 油桐幼苗 Tr 日变化与 PAR 日变化变化不一致, 这与其他研究不同^[13], 可能是由于蒸腾速率变化是环境因子与植物生理因素综合作用的结果^[14].

光照可以提供植物进行光合作用所需的能量, 活化参与光合作用的关键酶, 并且也能促进气孔开放^[13]; 气孔导度也影响着植物的光合作用、蒸腾作用以及胞间 CO_2 体积分数, 气孔大小对植物蒸腾作用的水分散失也有一定影响^[15]. 本研究表明, 套种大豆的油桐幼苗 P_n , G_s 和 Tr 均较纯林油桐幼苗有不同程度的降低, 但差异均没有统计学意义 ($p > 0.05$), 这与其他研究结果相符^[13, 16]. 究其原因, 大豆苗生长过快, 对油桐苗产生遮荫环境, 进而减少了叶片的光合有效辐射, 使其叶片光合速率、气孔导度和蒸腾速率在一定程度上受到了影响^[17-18]; 另外, 油桐幼苗套种大豆时间长, 且大豆幼苗长势较大, 两者共生会产生竞争, 进而降低油桐幼苗的净光合速率^[19-22]. 然而, 油桐幼苗叶片蒸腾速率降低有利于减少油桐幼苗水分的散失, 在高温条件下可以防止油桐受干旱胁迫、维持正常生理需要, 并可以达到节水目的^[22].

水分利用率作为植物气体交换的一个重要指标, 表征了植物在等量水分消耗情况下, 固定 CO_2 的能力, 它不仅体现了自身的光合能力大小, 也能反映植物利用有效用水的能力和抗旱性^[21, 23]. 本研究表明, 套种大豆油桐幼苗的水分利用率在一定程度上显著高于纯林油桐幼苗 ($p < 0.05$), 可能是由于套种大豆使油桐幼苗叶片气孔导度降低, 减少了叶片水分的散失, 降低其蒸腾速率, 使更多的水分用于光合作用, 从而提高了其水分利用率. 这也进一步说明了套种大豆有利于油桐幼苗抵御干旱胁迫^[21, 24].

本试验采用模型拟合了两种处理下油桐幼苗净光合速率对光强和 CO_2 体积分数的响应, 求出回归模型的参数拟合度均良好. 王瑞等^[25]研究表明, 一定程度的遮阴会降低植物的光补偿点; 黄露等^[20]认为, 植物 LCP 和 LSP 的降低能够提高植物对弱光利用能力和对有限资源的有效利用; 孙年喜等^[26]研究表明, CO_2 补偿点低有利于植物生长中光合产物的积累. 本研究表明, 套种大豆使油桐幼苗的 $P_{n_{max}}$ 、 R_d 、 LCP 、 LSP 、 CCP 及 CSP 等指标参数均有不同程度的降低, 但其株高与地径增长量均高于纯林油桐, 这表明油桐幼苗在套种大豆导致的遮阴条件下能够提高光能利用率, 减少暗呼吸来使油桐适应弱光环境, 并促进其光合产物的积累, 这与其他研究^[27-28]结果相似. 另外, 套种大豆的油桐幼苗叶片的 CCE 较纯林低, 这可能是套种大豆导致的遮阴降低植物对 CO_2 的亲合力^[29].

综上, 在本试验范围内, 套种大豆虽然降低了油桐幼苗净光合速率, 却提高了油桐幼苗对弱光利用能力, 其生长量也未受到影响; 此外, 套种大豆降低了油桐幼苗的气孔导度和蒸腾速率、提高了其水分利用率, 这有助于油桐幼苗在高温干旱条件下维持自身正常生长发育, 对油桐幼苗抵御重庆夏季的高温伏旱天气也有着积极作用. 据此认为, 在三峡库区实行油桐幼苗套种一年生经济作物具有可行性, 长期套种豆科植物, 还可以有效利用大气中的氮, 从而提高资源利用率^[30]; 但应注意土壤水肥的补充, 这样才能保证油桐幼苗在套种导致的遮阴环境下仍有较高的生长量.

参考文献:

- [1] 杨世琦,高阳华,罗孳孳,等.重庆市油桐气候区划精细化研究[J].西南大学学报(自然科学版),2013,35(7):144-150.
- [2] 戴国富,谢世友,王 巨.重庆三峡库区油桐适生条件分析[J].湖北农业科学,2011,50(14):2900-2904.
- [3] 徐永杰,汪阳东,周席华,等.油桐幼林不同套种模式效益分析[J].中国农学通报,2012,28(1):103-106.
- [4] 吴 钢,魏 晶,张 萍,等.三峡库区农林复合生态系统的效益评价[J].生态学报,2002,22(2):233-239.
- [5] 章家恩,高爱霞,徐华勤,等.玉米/花生间作对土壤微生物和土壤养分状况的影响[J].应用生态学报,2009,20(7):1597-1602.
- [6] 桂富荣,普雁翔,王平华.马铃薯与玉米不同套种模式的经济效益评价[J].云南农业大学学报,2005,20(6):792-794.
- [7] 李纪元,肖 青,李辛雷,等.不同套种模式油茶幼林水土流失及养分损耗[J].林业科学,2008,44(4):167-172.
- [8] 丁松爽,苏培玺,严巧娣,等.不同间作条件下枣树的光合特性研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):184-189.
- [9] 董志新.不同苜蓿品种光合特性研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2007.
- [10] 白莹莹,高阳华,张 焱,等.气候变化对重庆高温和旱涝灾害的影响[J].气象,2010,36(9):47-54.
- [11] 阮 旭,张 玥,杨忠星,等.果茶间作模式下茶树光合特征参数的日变化[J].南京农业大学学报,2011,34(5):53-57.
- [12] 李 泽,谭晓风,袁 军,等.4个油桐品种光合特性的日变化研究[J].中国农学通报,2013,29(25):12-15.
- [13] 彭晓邦,蔡 靖,姜在民,等.渭北黄土区农林复合系统中大豆辣椒的光合生理特性[J].生态学报,2009,29(6):3173-3180.
- [14] 萧浪涛,王三根.植物生理学[M].北京:中国农业出版社,2004.
- [15] 叶子飘,于 强.植物气孔导度的机理模型[J].植物生态学报,2009,33(4):772-782.
- [16] 韦威旭.套种木薯对花生品种桂花30光合特性和农艺性状的影响[J].广西农业科学,2010,41(4):323-325.
- [17] 张永霞,李国旗,张 琦.不同遮荫条件下罗布麻光合特性的初步研究[J].西北植物学报,2007,27(12):2555-2558.
- [18] 陈洪国.3个桂花品种生长、花量及光合作用的年周期变化[J].华中农业大学学报,2007,26(4):546-551.
- [19] 郎 莹,张光灿,张征坤,等.不同土壤水分下山杏光合作用光响应过程及其模拟[J].生态学报,2011,31(16):4499-4508.
- [20] 黄 露,甘润朕,张 涛,等.施肥对桑树夏季生长叶片的光合特性影响[J].蚕业科学,2013,39(6):1056-1065.
- [21] 闫海龙,张希明,许 浩,等.塔里木沙漠公路防护林3种植物光合特性对干旱胁迫的响应[J].生态学报,2010,30(10):2519-2528.
- [22] 王 磊,任树梅,毕勇刚,等.土壤水分及有机肥料对番茄叶片光合特性及叶绿素含量影响的试验研究[J].灌溉排水学报,2004,23(2):66-68.
- [23] 李国泰.8种园林树种光合作用特征与水分利用效率比较[J].林业科学研究,2002,15(3):291-296.
- [24] 许 皓,李 彦,邹 婷,等.梭梭(*Haloxylon ammodendron*)生理与个体用水策略对降水改变的响应[J].生态学报,2007,27(12):5019-5028.
- [25] 王 瑞,丁爱萍,杜林峰,等.遮阴对12种阴生园林植物光合特性的影响[J].华东农业大学学报,2010,29(3):369-374.
- [26] 孙年喜,李隆云,钟国跃,等.半夏光合特性研究[J].西南农业学报,2009,22(1):71-73.
- [27] 吴统贵,虞木奎,孙海菁,等.林药复合系统林下植物光合特性对生长光强的响应[J].中国生态农业学报,2011,19(2):338-341.
- [28] 李 植,秦向阳,王晓光,等.大豆/玉米间作对大豆叶片光合特性和叶绿素荧光动力学参数的影响[J].大豆科学,2010,29(5):808-811.

- [29] 徐 凯, 郭延平, 张上隆. 不同光质对草莓叶片光合作用和叶绿素荧光的影响 [J]. 中国农业科学, 2005, 38(2): 369—375.
- [30] 李 隆, 左元梅, 刘永秀, 等. 根际微生态系统理论在我国农业高产高效中的作用——间套种作物种间的根际微生态效应的发现及应用前景 [J]. 中国农业科技导报, 1999, 1(4): 34—40.

Effects of Intercropping with Soybean on Photosynthetic Characteristics and Growth of Tung Oil Tree Seeding

WAN Pan¹, LIU Yun¹, HUANG Xiao-hui¹,
XIONG Xing-zheng¹, PENG Li-yuan¹, OU Yang¹,
YUAN Xiao-qian¹, ZHOU Kai², MENG Xiang-jiang²

1. Department of Forestry, College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;
2. Chongqing Academy of Forestry, Chongqing 400036, China

Abstract: 1-year-old tung oil tree were chosen as the research object, and intercropping with soybean and without soybean as two treatments in the field. Then, the photosynthetic characteristics and growth of tung oil tree seeding in two conditions were analyzed, modified model of rectangular hyperbola was fitted with P_n -PAR and P_n -CO₂ responses, and effects on the photosynthetic productivity and growth of tung tree seedlings with intercropping soybean were explored. The results showed that tung oil tree leaf P_n , G_s and T_r with intercropping were lower than those without soybean, but the difference was not significant ($p > 0.05$); and WUE with intercropping were higher than those without soybean ($p < 0.05$); intercropping with soybean can reduce the LCP , LSP and CCP of tung tree seedlings, which explain that intercropping with soybean can reduce the photosynthetic capacity of tung tree seedlings, but helps to reduce water loss of tung tree seedlings, and resist drought stress by high water use efficiency. Furthermore, the fitting degree of P_n -PAR and P_n -CO₂ response curve were above 0.97, 0.99, which shows the well fitting; intercropping soybean did not affect the growth of the tung tree seedlings, which can help tung tree seedlings improving the ability of using low light and accumulating the photosynthetic products. It clearly shows that intercropping soybeans in the proper density can reduce photosynthetic capacity of the tung tree seedlings, improve photosynthetic performance, and increase drought tolerance of mulberry as well, which has a positive action for tung tree seedlings withstanding high temperatures in Chongqing summer.

Key words: Intercropping patterns; Tung oil tree; Photosynthetic characteristics; Fitting model

责任编辑 陈绍兰

实习编辑 包 颖

